

基于 VC 实现三维网络模型地质结构可视化研究

马瑞民,肖慧聰,王学宇,王雪珊,谢会敏

(东北石油大学 计算机与信息技术学院,黑龙江 大庆 163318)

摘要:目前,三维可视化技术逐步应用于地质工程领域相关图形软件的模块开发中。针对岩心的结构特点,可以为3D真实图像如何适应各类储层以及研究流体如何进行流动揭示其流动机制提供有效的理论依据。根据相应的孔隙和喉道的半径、面积、长度和形状因子、配位数等参数数据,运用3dsMax软件中的maxscript编辑器建立仿真度较高的三维地质模型,可以真实、自然、直观地分析研究水驱剩余油过程的三维模型。通过VC在编程上以及3dsMax技术在可视化开发方面的广泛运用,模拟出岩心孔隙和喉道的分布情况。联系实验室的项目开发经验,详细阐述运用VC编程与3dsMax相结合实现地质三维模型可视化的过程。

关键词:VC;3dsMax;三维可视化;地质结构

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)10-0095-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.10.021

Research on Geological Structure Visualization of Three-dimensional Network Model Based on VC

MA Rui-min, XIAO Hui-cong, WANG Xue-yu, WANG Xue-shan, XIE Hui-min

(College of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Currently, three-dimensional visualization technology is gradually applying into module development of geology engineering related graphics software. Aiming at the core structural characteristics, it provides effective theory basis for real 3D image that how to adapt to various types of reservoir and research fluid flow to reveal the flow mechanism. According to the corresponding radius, area, length for pore and throat, and shape factor and the coordination number, the maxscript editor in 3dsMax software is used to create a three-dimensional geological model with high degree of simulation, which analyzes and studies three-dimensional model of waterflood residual oil process really, naturally and intuitively. By the extensive application of VC in the programming as well as 3dsMax in visualization development, the distribution of core porosity and throat is simulated. Contacted with laboratory project development experience, the three-dimensional geological model visualization process is elaborated using VC programming and 3dsMax.

Key words: VC; 3dsMax; three-dimensional visualization; geologic structure

0 引言

随着全球经济的发展以及各国经济发展对石油依赖程度的增大,石油能源作为经济发展的命脉,逐步成为关注的焦点。三维网络模型可视化也逐渐运用到石油开采方案、项目招投标、地质数据分析等石油地科领域。原油储层是错综复杂的多孔介质结构,三维网络可以模拟微观孔隙对地质勘探资料在微观孔隙尺度上分析特征参数的影响。使用大量的实验数据在计算机中构建反映地质岩心构造的真实形态,各地质特征参数之间的关系以及岩心空间分布规律的数学模型等,

可以为3D真实感图像如何适应各类储层以及研究流体如何进行流动揭示其流动机制提供有效的理论依据。三维网络模型具有可视性,能够模拟流体在孔道中的流动状态。通过该模型可获得逼真的三维动态显示效果,能够使不了解地质结构的人对地下真实油藏孔隙特征具有直观的认识。通过可视化技术既可以仿真物理模拟实验,又可以与实际生产相接轨,可提高对难以勘探复杂地质条件的判别。可视化建模技术正是现阶段的最佳手段^[1]。

文中在此基础上研究三维网络模型可视化技术。

收稿日期:2015-10-10

修回日期:2016-01-17

网络出版时间:2016-08-01

基金项目:黑龙江省高等教育教学改革项目(JG2013010153);中国石油天然气集团公司重大科技专项“重大工程关键技术装备研究与应用项目”子课题(2013E-38-09)

作者简介:马瑞民(1958-),男,教授,研究方向为计算机应用技术;肖慧聰(1989-),女,硕士研究生,研究方向为计算机仿真与可视化技术。

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160801.0842.010.html

从三维网络模拟数据可视化的本质来看,为提高可视化反映真实的视觉效果,采用先进的可视化技术与方法,可以减少模拟可视化的难度^[2]。三维模型呈现相对真实的立体效果,由于油藏的岩层中天然形成的孔隙形态和分布较为复杂多样,因此,如何选择恰当的建模技术至关重要。3dsMax 作为一个性能优越的图形应用程序设计界面,凭借其高性能的三维图形功能和 VC 的通用性及运行效率高等特点,通过不同地质数据建立相应的三维模型,可以灵活、真实、自然、直观地表现、分析、研究水驱剩余油过程的三维模型,验证利用 3dsMax 与 VC 混合编程开发三维网络模型可视化的可行性^[3]。

1 实现三维网络模型可视化的技术背景

3dsMax 是 Autodesk 公司开发的具有多功能且应用广泛的三维计算机图形软件,建立三维模型,设置场景,设置运动轨迹,创建摄像机,调节动画帧。3dsMax 模拟的图像可以做到真实、自然,整体效果没有生硬、呆板的感觉。3dsMax 的建模技术高效便捷,拥有先进的渲染、仿真、庞大的绘图功能,多样化的建模工具以及流畅的应用工作流^[4]。

1.1 3dsMax 创建三维图形的基本步骤

3dsMax 构建三维地质模型的基本步骤如图 1 所示,总体可以概括为三个主要内容。

- (1)整理数据:对项目提供的数据进行汇总,整理岩石孔隙结构的信息。
- (2)建模:通过压汞资料提取孔隙及喉道大小分布规律的数据,用相互连通的通道和节点来描述、编译程序。
- (3)设置环境:根据地质数据的节点物理坐标进行批量建模。

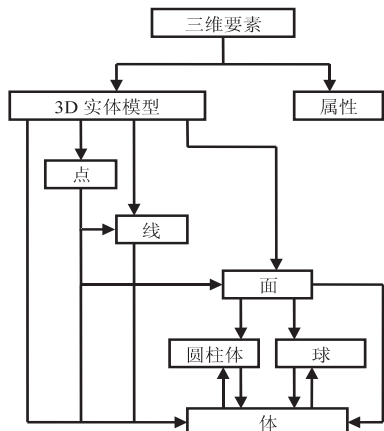


图 1 3 维空间数据模型

孔隙网络模型是网络模型化代替孔隙介质内复杂的孔隙空间。孔隙的几何形状通常是不规则的,而且孔隙介质和喉道部分的形状和大小各异,网络模型以

不规则的孔隙和联通各孔隙之间的喉道所构成,将复杂的孔隙结构编译为理想的几何形状,这样储层孔隙介质就形成一定的几何参数,同时引入配位数的概念来表述孔隙联通情况,流体在孔隙介质中的流动实际上是在庞大的网络系统中的流动。因此,通过 VC 中编译呈现网络模型的可视化来模拟流体在孔隙介质中流动,推进三维模型在设计领域的广泛应用^[5]。

1.2 模型参数

模型的建立和应用离不开孔隙和喉道的半径、面积、长度,以及形状因子、配位数等参数,这些参数在计算毛管压力、导流率、孔隙度等多项数据时应用普遍。

1.3 模型假设

- (1)三维模型喉道中流体为不可混合多相流体,不能被压缩。
- (2)如果孔隙和喉道的比例小,孔隙的尺寸足够大,那么需要的驱动力小,液体通过孔隙时的毛管压力可忽略不计。
- (3)喉道中假设同时存在单一或多相流体,当喉道同时充满油、水两种流体时,形成的流体也是多段的,油占据喉道较大空间的中心位置,而水则填满占据在角隅分布^[6]。
- (4)网络模型由大量大小不同的节点(岩心孔隙)构成,相连的两个节点间距离等于两个所在孔隙的半径与连接这两个孔隙的喉道长度之和。

1.4 孔隙和喉道长度

三维网络模型由较多的孔隙空间及其相互连通的喉道构成。孔隙和喉道设定为相应规则的几何形状,蕴含一定的规律性,因此就具有与之匹配的几何参数。网络模型中孔隙和喉道的尺寸分布有多种选择方式,函数的表达式含有相关参数的取值范围,如不同分布函数下的均值、方差,可以通过函数随机赋予模型中的孔隙半径的方法。文中采用正态分布函数来描述孔隙半径的大小^[7],孔隙半径概率分布函数采用 Haring-Greenkorn 模式,即:

$$p(r) = K(R_{\max} - r)(r - R_{\min}) \exp(-\frac{r - \bar{R}^2}{2\sigma^2}) \quad (1)$$

将 R_{\max} 、 R_{\min} 的差值 n 等分后,相邻半径长度的差值为 $dh = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{n}$,所以长度在 R_{\max} 和 R_{\min} 之间的某一孔隙半径为:

$$r = R_{\min} + i \frac{R_{\max} - R_{\min}}{n} (i = 0, 1, \cdots, n)$$

将 r 代入 Haring-Greenkorn 模式后,即可得出此半径的概率密度,并根据孔隙数量随机地将半径为 r 的孔隙分布在网络模型中,从而求出所有孔隙半径的概率分布密度^[8]。

1.5 孔隙体积

孔隙体积是根据孔隙正方形和圆形的截面积乘以孔隙的长度计算得出。其中,孔隙长度为其内切圆两个半径之和,各种截面孔隙体积公式如下:

正方形截面:

$$V_i = S_i \cdot L_i = 4R^2 \cdot 2R = 8R^3$$

圆形截面:

$$V_i = S_i \cdot L_i = \pi R^2 \cdot 2R = 2\pi R^3$$

式中, V_i 为孔隙体积; S_i 为孔隙的截面积; L_i 为孔隙长度; R 为孔隙半径。

2 模型建立

构建具有不规则孔隙的三维网络模型,节点是各孔隙的中心,喉道的长度为喉道两端孔隙中心节点之间的距离减去两端的孔隙半径,随机给节点之间距离赋值,网络模型整体外观近似正方体。喉道与孔隙半径在最大、最小范围内根据概率随机赋值进行建模。液体以左进右出的方向流入孔隙,液体注入面与出液面上各孔隙节点压力相同,流入孔隙入口端为注入压力,流出孔隙出口端的压力为 0,并且不包括边界面上的孔隙,模型内部孔隙所连通的喉道可以自己定义设置^[9]。

实际应用中更多的是采用一种修正的威布尔分布函数来表示孔喉的半径分布,该分布函数如下:

$$f(x) = \frac{r - r_{\min}}{(r_{\max} - r_{\min})^2} \exp\left(-\frac{(r - r_{\min})^2}{(r_{\max} - r_{\min})^2}\right) \quad (2)$$

3 在 VC 环境中 3dsMax 绘图

三维模型可视化界面的编辑环境是以 Intel 为硬件平台,运行在 Windows 系列的操作系统之上开发的。因为 VC 面向对象的可视化集成编程系统,为使 3dsMax 构建三维图形方便快捷,故采用 VC6.0 作为开发工具。与此同时,文中设计编译的演示界面实现在 VC 中使用 3dsMax 建模,它包含了 3dsMax 在绘制过程中的常用建模函数,方法如下:

(1) 在 VC 中创建一个新的工程。

(2) 添加 3DMAX 的头文件。在 Microsoft Developer Studio 环境中打开下拉菜单 Tools 点取 Options 进入 Options 对话框并切换到 Directories 选项卡,在 Directories 列表框中加入 C:\3DMAX\INCLUDE。

(3) 增加动态连接库。将动态连接库添加到 Windows 操作系统状态下,所有的程序通过动态连接库实现共享;将动态连接库添加到某文件的 Debug 中,则该文件仅能在这个动态连接库使用。

(4) 利用 MFC Microsoft Foundation Classes 提供的应用框架建立一个 Windows 用户界面,首先要用 MFC

App Wizard 来生成 Windows 应用程序的基本源文件,然后将 My3d 定义为所建立的工程名称。在此工程中,用添加通过 Class Wizard 建立的应用程序的类进而实现应用程序所需要的功能,包括:消息和数据的处理、定义控件的属性、应用的方法等^[10]。

4 三维图形可视化界面设计思路

设计了一款基于三维模型的水驱剩余油分布结构计算软件,文中开发的基于 VC 与 3dsMax 的三维模型可视化界面作为软件的图形显示窗口,根据大量的地质数据进行模型的建立,并用三维网格形式绘制出地质模型中所有应用,如图 2 所示。

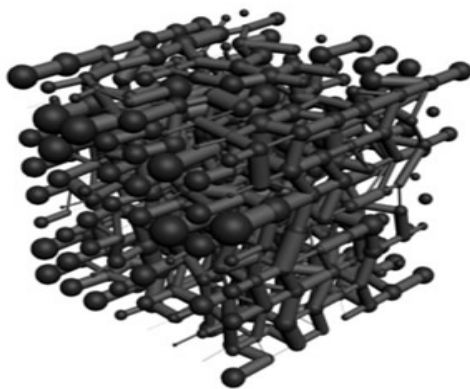


图 2 三维网络模型

通过随机赋值的功能,运用正态分布函数获取地质节点物理坐标数据的文件地址,并将节点物理坐标数据整理汇总在三维矩阵中,分别代表 X,Y,Z 方向上的坐标值。根据地质数据中节点的大小和喉道的大小即可通过 3dsMax 操作界面中的 maxscript 绘制出地质的三维网格图像^[11],从而实现地质模型建立模块的三维模型可视化功能。给网络模型各节点和喉道赋一个特征值,表示该节点是水相侵入点,还是油相侵入点。网络模型利用左进右出的方式进行驱替,在孔隙入口端对油相施加压力。假设出口端压力为 0,以节点为研究对象,利用各节点流量守恒方程建立方程组,计算各节点压力。驱动通常会持续一个步长的时间段,在每一个时间步长内进行驱替,压力将重新分布^[12]。由于压力的级别不同,相同压力级别下,找出与油相连通的喉道驱替压力级别大于入口端的毛管压力,并且油相没有充满该喉道,在当前压力级别下所有可侵入喉道亦按照驱替优先级进行驱替,即入口端毛管压力最小且与油相相通的喉道优先被驱替,在每一个时间步长仅有一个驱替事件发生^[13]。

4.1 模拟出水驱剩余油的分布情况

该系统具有直观的界面设计,操作简便,能较好满足用户的使用要求。通过平均配位数和平均孔喉比、湿润性,运用修正的正太分布算法,建立水驱油动态过

程的数学模型,编制模拟水驱油的计算程序,系统输入基础数据进行运算得出结果信息孔隙和喉道坐标位置。保存到txt文本格式里,方便进行数据调用,运用3dsMax的maxscript编辑器中的编译功能,调用算出的相应地质数据的节点物理坐标,建立不规则孔隙的三维网络模型,将所构造的三维数字化岩心成像,实现骨架模型的可视化^[14]。

4.2 其他效果实现

为了达到较好的可视化效果,方便实验人员操作使用,开发的地质三维模型可视化界面可以根据孔隙中含油的多少,给孔隙赋予不同的颜色等功能,实现数字化岩心水驱剩余油的整体成像。

5 结束语

文中实现了基于三维网络模型水驱剩余油可视化界面的设计。该系统作为三维模型演示部分,目前可以实现地质三维模型的构建,研究水驱剩余油的驱油机理及影响驱油效率的因素,模拟流体在孔道中流动,全面分析微观孔隙结构因素对驱油效率的影响,在此基础上进一步开发即可实现油、水在三维模型中的动态演示,具有很大的实用性。该系统能够较真实地完成建模功能,并可在在此基础上陆续开发关于三维可视化相关内容的应用软件到其他领域中。

参考文献:

- [1] 王彪,宫娜.在VC++中使用3DMAX SDK和OpenGL实现建模的方法[J].黑龙江商学院学报:自然科学版,2000,16(3):44-47.
- [2] 张伟.聚驱后剩余油分布及影响因素分析[D].大庆:大庆石油学院,2010.
- [3] 林丽,冉振亚,张杨.基于C#的三维模型可视化技术

(上接第94页)

- and tracking from realtime video[C]//Proc of IEEE workshop on applications of computer vision. [s.l.]:IEEE,1998:129-136.
- [6] 朱梁.健康监测跑步机的研发[D].杭州:浙江理工大学,2013.
- [7] 程娟.复杂背景下运动目标识别算法研究[D].武汉:武汉理工大学,2008.
- [8] 孙浩.智能型电动跑步机驱动控制系统设计与实现[D].南京:南京邮电大学,2011.
- [9] 王树文,闫成新,张天序,等.数学形态学在图像处理中的应用[J].计算机工程与应用,2005,40(32):89-92.
- [10] 顾成成,任彧,刘宗钦,等.可识别手势的跑步机:中国,2010102452.9[P].2010-12-15.

研究[J].科技信息,2009(27):46-48.

- [4] Esmailzadeh S,Afshari A,Motafakkerfard R. Integrating artificial neural networks technique and geostatistical approaches for 3D geological reservoir porosity modeling with an example from one of iran's oil fields[J]. Petroleum Science and Technology,2013,31(11):1175-1187.
- [5] Vogel H J,Roth K. Quantitative morphology and network representation of soil pore structure[J]. Advances in Water Resources,2001,24(3-4):233-242.
- [6] Joel P,Marc P,Najib B,et al. Pore network modeling of gas diffusion layer as a support to better understand water management in proton exchange membrane fuel cells[J]. Meeting Abstracts,2015,37:1283-1283.
- [7] Wang Gongwen,Huang Lei. 3D geological modeling for mineral resource assessment of the Tongshan Cu deposit, Heilongjiang Province, China[J]. Geoscience Frontiers,2012,3(4):483-491.
- [8] 杨耀红.三维地质模型可视化分析技术研究与应用[D].北京:中国地质大学,2007.
- [9] Microsoft Corporation. 3D studio max software development kit[M]. [s.l.]:Yost Group,Inc.,1996.
- [10] 于森,焦淑红.基于VC++与OpenGL的船舶三维模型可视化应用[J].信息技术,2011(6):161-163.
- [11] 赵宏中,周鹏.基于VC++和OpenGL实现3DMax模型交互浏览[J].软件导刊,2008,7(2):73-74.
- [12] 蒋莹.基于三维网络模型的聚合物驱相对渗透率及驱油效率研究[D].大庆:大庆石油学院,2010.
- [13] Sorbie K S. Depleted layer effects in polymer flow through porous media:single capillary calculations[J]. Journal of Colloid and Interface Science,1990,139(2):299-314.
- [14] Mason G,Morrow N R. Capillary behavior of a perfectly wetting liquid in irregular triangular tubes[J]. Journal of Colloid and Interface Science,1991,141(1):262-274.
- [11] 蒋建业.一种跑步机的速度控制方法及装置:中国,200810217067.5[P].2009-03-18.
- [12] Lichtenstein L,Barabbas J,Woods L R,et al. A feedback-controlled interface for treadmill locomotion in virtual environments[J]. ACM Transactions on Applied Perception,2007,4(1):1-22.
- [13] 杨杰,张翔.视频目标检测和跟踪及其应用[M].上海:上海交通大学出版社,2012.
- [14] Verkerke G,Hof A,Zijlstra W,et al. Determining the centre of pressure during walking and running using an instrumented treadmill[J]. Journal of Biomechanics,2005,38(9):1881-1885.
- [15] 杨先军,李春丽,夏懿,等.电动跑步机上步态特征获取系统的设计[J].传感技术学报,2012,25(6):751-755.